

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problems Mailbox.**

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 09-097950

(43)Date of publication of application : 08.04.1997

(51)Int.CI.

H01S 3/18

H01L 21/203

H01L 21/363

(21)Application number : 08-189806

(71)Applicant : MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD

(22)Date of filing : 18.07.1996

(72)Inventor : NISHIKAWA KOJI  
KAMIMURA NOBUYUKI  
KAMIYAMA SATOSHI

(30)Priority

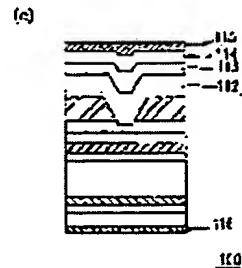
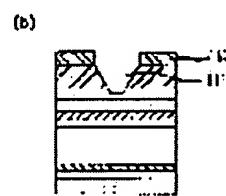
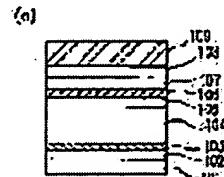
Priority number : 07185212 Priority date : 21.07.1995 Priority country : JP

## (54) SEMICONDUCTOR LASER AND ITS MANUFACTURE

## (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To obtain a semiconductor laser in which the value of a threshold current is reduced and which can be oscillated in a single transverse mode by a method wherein a second clad layer and a third clad layer are formed of ZnMgSSe and compositions of Mg and S for an optical confinement layer are made larger than compositions of Mg and S for the second and third clad layers.

**SOLUTION:** An n-type GaAs buffer layer 102, an n-type ZnSe buffer layer 103, a first n-type ZnMgSSe clad layer 104, a first ZnSSe light guide layer 105, a multiple quantity well layer 106, a second ZnSSe light guide layer 107, a second p-type ZnMgSSe clad layer 108 and a ZnMgSSe optical confinement layer 109 are laminated sequentially on an n-type GaAs substrate 101. A groove 111 which reaches the second clad layer 108 is formed in the optical confinement layer 109, and a third p-type ZnMgSSe clad layer 112 is formed so as to bury the groove 111. At this time, compositions of Mg and S for the optical confinement layer 109 are made larger than compositions of Mg and S for the second and third clad layers 108, 112.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

12.03.2003

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (JP)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平9-97950

(43)公開日 平成9年(1997)4月8日

(51) Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 01 S 3/18			H 01 S 3/18	
H 01 L 21/203			H 01 L 21/203	M
21/363			21/363	

審査請求 未請求 請求項の数13 O.L (全 11 頁)

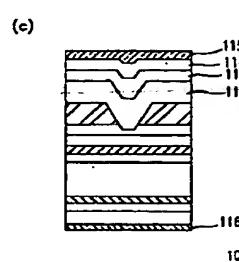
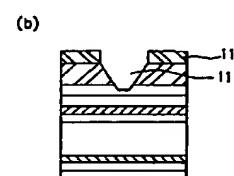
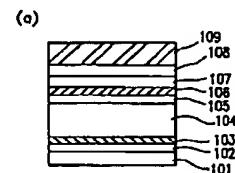
(21)出願番号	特願平8-189806	(71)出願人	000005821 松下電器産業株式会社 大阪府門真市大字門真1006番地
(22)出願日	平成8年(1996)7月18日	(72)発明者	西川 孝司 大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器 産業株式会社内
(31)優先権主張番号	特願平7-185212	(72)発明者	上村 信行 大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器 産業株式会社内
(32)優先日	平7(1995)7月21日	(72)発明者	上山 智 大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器 産業株式会社内
(33)優先権主張国	日本 (JP)	(74)代理人	弁理士 山本 秀策

(54)【発明の名称】 半導体レーザ及びその製造方法

## (57)【要約】

【課題】 しきい値電流が低く、単一横モード発振するII-VI族化合物半導体レーザを提供する。

【解決手段】 n型GaAs基板の上に、n型GaAsバッファ層、n型ZnSeバッファ層、n型ZnMgSSe第1クラッド層、ZnSSe第1光ガイド層、多重量子井戸層(活性層)、ZnSSe第2光ガイド層、p型ZnMgSSe第2クラッド層、及びZnMgSSe光閉じ込め層を、順次積層する。光閉じ込め層に、第2クラッド層に達する溝(開口部)を形成する。この開口部を埋め込むようにp型ZnMgSSe第3クラッド層を形成し、さらにその上にp型ZnSSeクラッド層及びp型ZnSeコンタクト層を順次積層する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 II-VI族化合物半導体材料で形成されている活性層と、該活性層を上下から挟み込むように設けられている第1及び第2のクラッド層と、該第2のクラッド層の上に設けられていて、電流を流す開口部を有している、ZnMgSSeで形成された光閉じ込め層と、該光閉じ込め層の該開口部に設けられている第3のクラッド層と、を備え、該光閉じ込め層は、高抵抗を有しているか、或いは該第3のクラッド層とは逆の導電型を有していて、該第2及び第3のクラッド層はZnMgSSeで形成されていて、該光閉じ込め層のMg及びSの組成は該第2及び第3のクラッド層のMg及びSの組成よりも大きい、半導体レーザ。

【請求項2】 前記光閉じ込め層の前記開口部が前記活性層に近い側で狭くなっている、請求項1に記載の半導体レーザ。

【請求項3】 前記活性層と前記第1のクラッド層との間、及び該活性層と第2のクラッド層との間にそれぞれ設けられた光ガイド層をさらに備える、請求項1に記載の半導体レーザ。

【請求項4】 前記第2及び第3のクラッド層の屈折率が前記光閉じ込め層の屈折率よりも大きい、請求項1に記載の半導体レーザ。

【請求項5】 前記第3のクラッド層の上に設けられたコンタクト層と、

該コンタクト層の上に設けられた電極と、をさらに備え、該電極と該コンタクト層とは素子面積で接触している、請求項1に記載の半導体レーザ。

【請求項6】 前記コンタクト層は少なくともZnSeを有している、請求項5に記載の半導体レーザ。

【請求項7】 前記第2のクラッド層と前記光閉じ込め層との間に設けられたエッティング停止層をさらに備える、請求項1に記載の半導体レーザ。

【請求項8】 基板上に、第1のクラッド層と活性層と第2のクラッド層と光閉じ込め層とを少なくとも含む積層構造を成長させる工程と、

該光閉じ込め層の上に選択的にマスクを形成する工程と、

該マスクを用いて該光閉じ込め層を該第2のクラッド層が露出するまでエッティングして、該光閉じ込め層に開口部を設ける工程と、

該光閉じ込め層の該開口部に第3のクラッド層を成長させて、該開口部を埋め込む工程と、

該第3のクラッド層の上にコンタクト層を成長させる工程と、を包含し、

該活性層はII-VI族化合物半導体材料から形成されてい

て、

該光閉じ込め層は高抵抗を有しているか、或いは該第3のクラッド層とは逆の導電型を有していて、該第2及び第3のクラッド層と該光閉じ込め層とはZnMgSSeから形成されていて、該光閉じ込め層のMg及びSの組成は該第2及び第3のクラッド層のMg及びSの組成よりも大きい、半導体レーザの製造方法。

【請求項9】 前記光閉じ込め層のエッティングは少なくとも前記第2のクラッド層の中で停止する、請求項8に記載の方法。

【請求項10】 前記光閉じ込め層の前記開口部を前記第2のクラッド層に近い側が狭くなるように形成する、請求項8に記載の方法。

【請求項11】 前記第3のクラッド層の成長工程を再成長によって行い、該第3のクラッド層は熱履歴を1度しか受けない、請求項8に記載の方法。

【請求項12】 前記第2のクラッド層と前記光閉じ込め層との間に、前記光閉じ込め層のエッティングを停止させるエッティング停止層を成長させる工程と、該光閉じ込め層のエッティングによって露出した該エッティング停止層の表面を清浄化する工程と、をさらに包含し、該清浄化工程の後に前記第3のクラッド層を成長させる、請求項8に記載の方法。

【請求項13】 前記エッティング停止層をIII-V族化合物半導体材料で形成し、該エッティング停止層の清浄化工程は該エッティング停止層の露出した表面を水素を含むプラズマで照射する工程を包含する、請求項12に記載の方法。

30 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、半導体レーザ及びその製造方法に関し、特に、単一横モード（以下、「シングルモード」とも称する）で発振する半導体レーザ及びその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 p型及びn型不純物のドーピング技術の確立や、Mgを用いた4元混晶構造の導入、及びZnTeを用いたコンタクト層の採用により、室温にて連続発振が可能なII-VI族系半導体レーザが実現されつつある。この半導体レーザの実現によって、将来において、高品位の映像情報をコンパクトなディスク記録媒体に記録できる可能性が大きくなる。

【0003】 図1は、II-VI族系半導体を用いて形成されている従来技術による半導体レーザ20の構造を示す断面図である。

【0004】 半導体レーザ20の製造にあたっては、まず分子線エピタキシー法によりn型GaAs基板1の上に、n型GaAsバッファ層（厚さ約1μm）2、n型ZnSe層（厚さ約30nm）3、n型ZnMgSSe層（厚さ約1.2

$\mu\text{m}$ ) 4、ZnSSe層(厚さ約0.13 $\mu\text{m}$ ) 5、ZnCdSe活性層(厚さ約8nm) 6、第2ZnSSe層(厚さ約0.13 $\mu\text{m}$ ) 7、p型ZnMgSSe層(厚さ約0.7 $\mu\text{m}$ ) 8、p型ZnSSe層(厚さ約0.4 $\mu\text{m}$ ) 9、p型ZnSe層(厚さ約0.1 $\mu\text{m}$ ) 10、p型ZnSeTe層(厚さ約50nm) 11、及びp型ZnTe層12を順次積層する。その後に、ストライプ状のメサ構造(以下では、「メサストライプ」とも称する)を形成しながら、p型ZnMgSSe層8が露出するまで上記の積層構造をエッチングする。続いて、形成されたメサストライプの両側に絶縁物、例えばZnS層13を形成して、メサストライプを埋め込む(以下では、この層13を「埋め込み層13」とも称する)。その後に、メサストライプ(具体的には、その最上層のp型ZnTe層12)及びZnS層13の上面にAu/Pd電極15を形成し、さらにn型GaAs基板1の裏面にIn電極14を形成して、半導体レーザ20が完成する。

【0005】この構造では、成長したレーザ発振のための半導体積層構造にメサストライプを形成することで電流狭窄を実現し、さらにメサストライプを埋め込み層13で埋め込むことによって、形成される半導体レーザ20の表面の平坦化を実現している。また、埋め込み層13の構成材料として、レーザ発振のための半導体積層構造に含まれるクラッド層の構成材料(上記の例ではZnMgSSe)よりも低い屈折率を有する材料(上記の例ではZnS)を用いることによって、横方向の光閉じこめを実現している。

【0006】一方、図2は、特開平7-7183号公報に開示されている、他の従来の半導体レーザ30の構成を示す断面図である。この半導体レーザ30は、n型GaAs基板31の上にZnCdSe系II-VI族半導体材料をエビタキシャル成長させて、レーザ発振のための半導体積層構造を形成している青色発光レーザであり、500nm程度の短波長のレーザ光を発することができる。

【0007】具体的には、n型GaAs基板31の上に、n型ZnSeバッファ層32、n型ZnSSe第1光閉じ込め層33、ZnCdSe活性層34、及びp型ZnSSe第2光閉じ込め層35が、順次積層されている。さらに、第2光閉じ込め層35の上には、中央に帯状開口領域36aが設けられているGaAs電流ブロック層36が形成されている。電流ブロック層36の上には、p型ZnSSe第3光閉じ込め層37及びp型ZnSeコンタクト層38が形成されている。そして、コンタクト層38の上面及び基板31の裏面にはそれぞれ電極39及び40が設けられて、半導体レーザ30が完成されている。

【0008】半導体レーザ30では、電極39から活性層34に流れる電流しが電流ブロック層36を通過する際には、帯状開口領域36aのみを通過する。このため、電流しが活性層34の中でも帯状開口領域36aに対向した領域34aに集中的に流入して、この領域34aのみがレーザ発振に寄与する。このような電流の集

中効果に加えて、電流ブロック層36と活性層34とを接近して設けることによって、第2光閉じ込め層35の中での電流の拡がりが抑制される。これらの結果、半導体レーザ30では、電極39及び40の間に印加するバイアス電圧の低減が実現され、結果として電力消費の低減や動作の温度依存特性の改善を実現している。

【0009】また、半導体レーザ30では、電流ブロック層36を構成するGaAsと第2及び第3光閉じ込め層35及び37を構成するII-VI族半導体材料(ZnSSe)との間に屈折率の差が存在しているので、両者の間に光吸収の差が存在する。この結果、電流ブロック層36の帯状開口領域36aが横方向の光導波路として機能し、帯状開口領域36aの幅を適宜調整することによって、光の横方向の広がり状態を制御することができる。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】図1に示す構造を有する従来の半導体レーザ20には、以下のようないくつかの課題が存在する。

【0011】まず、電流狭窄及び横モード制御を実現する埋め込み層13は多結晶或いは非結晶である。そこに含まれる結晶粒界や、レーザ発振のための積層構造に含まれる薄膜層と埋め込み層13の間に取り込まれた不純物が、異常な電流経路を作る可能性がある。そのため、電流特性の劣化など信頼性に関する問題が生じ得る。

【0012】また、埋め込み層13が単結晶層ではないので、埋め込み層13の上にさらに単結晶層を成長させることはできない。そのため、メサストライプの上にメサストライプより広い面積を占めるp型コンタクト層を結晶成長させることができず、それによるコンタクト抵抗の低減が実現できない。

【0013】さらに、横方向の光閉じ込めを実現するための埋め込み深さ、すなわちメサストライプの高さはエッチングによって所定の値に設定されるが、その制御は非常に難しい。また、単一横モード発振を実現するためにはメサストライプの幅を非常に狭くする必要があるが、マスクを使って十分に幅の狭いストライプ構造を形成することは困難である。

【0014】加えて、p型電極とレーザ発振のための半導体積層構造に含まれるコンタクト層とはメサストライプの幅でのみ接触しているので、その間の接触面積が狭い。そのため、p型電極と活性層との間に非常に大きな抵抗が発生する。

【0015】一方、図2を参照して説明した従来の半導体レーザ30では、結晶成長によって広い面積を占めるコンタクト層38を形成することができる。また、そのようにして形成されたコンタクト層38の上にp型電極39が形成されているので、コンタクト層38と電極39との間の抵抗が低減される。従って、上述の問題をある程度まで解決することができる。

【0016】しかし、半導体レーザ30では、基板31の上に形成される半導体積層構造の構成材料としては、活性層34を除いて、基板31に格子整合する材料が使用される。そのため、クラッド層(光閉じ込め層)の組成が一義的に決定されてしまい(具体的には、ZnS<sub>0.9</sub>S<sub>0.1</sub>)、レーザ構造の設計における自由度がない。

【0017】さらに、半導体レーザ30の構成では、電流プロック層36をGaAsで構成しているが、GaAsは、発振するレーザ光を吸収する大きさのバンドギャップを有している。そのため、半導体レーザ30は、電流プロック層36による光の吸収が発生する光損失導波構造を有することになり、電流プロック層36による光の吸収のために高出力が得られない。

【0018】本発明は、上記課題を解決するためになされたものであり、その目的は、(1)しきい電流の値が小さく単一横モード発振が可能なII-VI族系半導体レーザを提供すること、及び(2)その製造方法を提供すること、である。

【0019】

【課題を解決するための手段】本発明の半導体レーザは、II-VI族化合物半導体材料で形成されている活性層と、該活性層を上下から挟み込むように設けられている第1及び第2のクラッド層と、該第2のクラッド層の上に設けられていて電流を流す開口部を有しているZnMgSSeで形成された光閉じ込め層と、該光閉じ込め層の該開口部に設けられている第3のクラッド層と、を備え、該光閉じ込め層は高抵抗を有しているか或いは該第3のクラッド層とは逆の導電型を有していて、該第2及び第3のクラッド層はZnMgSSeで形成されていて、該光閉じ込め層のMg及びSeの組成は該第2及び第3のクラッド層のMg及びSeの組成よりも大きく、そのことにより上記目的が達成される。

【0020】ある実施形態では、前記光閉じ込め層の前記開口部が前記活性層に近い側で狭くなっている。

【0021】好ましくは、前記活性層と前記第1のクラッド層との間、及び該活性層と第2のクラッド層との間にそれぞれ設けられた光ガイド層をさらに備える。

【0022】好ましくは、前記第2及び第3のクラッド層の屈折率が前記光閉じ込め層の屈折率よりも大きい。

【0023】好ましくは、前記第3のクラッド層の上に設けられたコンタクト層と、該コンタクト層の上に設けられた電極と、をさらに備え、該電極と該コンタクト層とは素子面積で接触している。さらに好ましくは、前記コンタクト層は少なくともZnSeを有している。

【0024】他の実施形態では、前記第2のクラッド層と前記光閉じ込め層との間に設けられたエッチング停止層をさらに備える。

【0025】本発明の半導体レーザの製造方法は、基板上に第1のクラッド層と活性層と第2のクラッド層と光閉じ込め層とを少なくとも含む積層構造を成長させる工

程と、該光閉じ込め層の上に選択的にマスクを形成する工程と、該マスクを用いて該光閉じ込め層を該第2のクラッド層が露出するまでエッチングして該光閉じ込め層に開口部を設ける工程と、該光閉じ込め層の該開口部に第3のクラッド層を成長させて該開口部を埋め込む工程と、該第3のクラッド層の上にコンタクト層を成長させる工程と、を包含し、該活性層はII-VI族化合物半導体材料から形成されていて、該光閉じ込め層は高抵抗を有しているか或いは該第3のクラッド層とは逆の導電型を有していて、該第2及び第3のクラッド層と該光閉じ込め層とはZnMgSSeから形成されていて、該光閉じ込め層のMg及びSeの組成は該第2及び第3のクラッド層のMg及びSeの組成よりも大きく、そのことによって上記目的が達成される。

【0026】好ましくは、前記光閉じ込め層のエッチングは少なくとも前記第2のクラッド層の中で停止する。

【0027】好ましくは、前記光閉じ込め層の前記開口部を前記第2のクラッド層に近い側が狭くなるように形成する。

【0028】好ましくは、前記第3のクラッド層の成長工程を再成長によって行い、該第3のクラッド層は熱履歴を1度しか受けない。

【0029】ある実施形態では、前記第2のクラッド層と前記光閉じ込め層との間に前記光閉じ込め層のエッチングを停止させるエッチング停止層を成長させる工程と、該光閉じ込め層のエッチングによって露出した該エッチング停止層の表面を清浄化する工程と、をさらに包含し、該清浄化工程の後に前記第3のクラッド層を成長させる。好ましくは、前記エッチング停止層をIII-V族化合物半導体材料で形成し、該エッチング停止層の清浄化工程は該エッチング停止層の露出した表面を水素を含むプラズマで照射する工程を包含する。

【0030】以下、作用について説明する。  
【0031】以上のような構造を有する本発明の半導体レーザ及びその製造方法では、レーザ発振のための半導体積層構造が結晶成長によって形成されるので、積層構造に含まれる光閉じ込め層及びクラッド層の厚さを、エッチング工程の制御ではなく結晶成長工程の制御によって所定の値に設定することができる。このため、所期の設計パラメータを有する光閉じ込め構造を、再現性良く形成することができる。

【0032】また、光閉じ込め層の開口部が活性層に近い側で狭くなるように形成されるので、開口部の形成のために使用するマスクの幅は、電流狭窄に関与する実効的なメастライプの幅よりも広くてよい。このため、幅の狭いメастライプを容易に形成することができる。

【0033】さらに、第3のクラッド層、コンタクト層及び電極は、メастライプの幅ではなく、素子面積で接触している。このため、電極とクラッド層との間に発

生する抵抗が著しく低減される。

【0034】光閉じ込め層に開口部を形成するエッチングは、少なくとも第2のクラッド層の中で停止させればよい。従って、このエッチング工程の制御が容易である。

【0035】或いは、第2のクラッド層と光閉じ込め層との間にエッチング停止層を設ければ、開口部を設けるための上記エッチング工程をさらに容易に制御することができる。さらに、このエッチング停止層をIII-V族半導体材料で形成すれば、開口部を設けるためのエッチングで露出したエッチング表面を容易に清浄化及び平滑化することができて、その表面上に第3のクラッド層を容易に再成長させることができる。上記の再成長に先立つエッチング停止層の表面の清浄化及び平滑化に水素プラズマを使用すれば、第3のクラッド層の成長温度に比べて比較的低い温度で清浄化及び平坦化処理を行うことができる。従って、半導体積層構造に対する熱の影響を低減することができる。

【0036】第3のクラッド層を再成長で形成すれば、熱によるp型クラッド層のキャリア不活性化の影響を少なくすることができる。

【0037】また、電流狭窄を行う光閉じ込め層が半導体積層構造の中に連続的に形成された単結晶層となるために、不必要なリーク電流の発生など、動作特性に悪影響を及ぼす恐れのある現象が生じる可能性が低減する。

【0038】さらに、本発明の半導体レーザでは、電流プロック層としての機能も発揮する光閉じ込め層が、4元混晶II-VI族化合物半導体材料であるZnMgSSeで構成されている。この材料は、発振するレーザ光の波長に比べてバンドギャップが大きいので発振するレーザ光を吸収せず、屈折率導波型のレーザ構造が実現される。従って、レーザ光の吸収が生じないだけしきい値電流を小さくすることができて、高出力範囲に至るまでのレーザ発振を達成できる。

【0039】また、光閉じ込め層の屈折率に比べて第2及び第3のクラッド層の屈折率を大きくすることによって、活性層に水平方向の実効屈折率差 $\Delta n$ を設けることができる。本発明の半導体レーザでは、この実効屈折率差 $\Delta n$ を適切に制御することによって、単一横モード発振を実現している。この際、クラッド層及び光閉じ込め層を4元混晶の半導体材料で形成しているが、4元混晶半導体材料には、基板に格子整合する組成が数多く存在する。従って、基板に格子整合し且つ適度な実効屈折率差をもたらす組成（材料）を容易に選択・設定することができるので、半導体レーザの設計における自由度が大きい。

【0040】

【発明の実施の形態】以下、本発明の半導体レーザの構成及びその製造方法の実施形態を、図面を参照しながら説明する。

【0041】図3(a)～(c)は、本発明のある実施形態における半導体レーザ100の構成及び製造工程を示す断面図である。

【0042】半導体レーザ100の製造にあたっては、まず図3(a)に示すように、n型GaAs基板101の上に、n型GaAsバッファ層102、n型ZnSeバッファ層103、n型ZnMgSSe第1クラッド層104、ZnSSe第1光ガイド層105、多重量子井戸層（活性層）106、ZnSSe第2光ガイド層107、p型ZnMgSSe第2クラッド層108、ZnMgSSe光閉じ込め層109を、順次積層する。具体的には、分子線エピタキシー(MBE)法を使用して、上記の各層を基板101の上に順次エピタキシャル成長させる。このMBE成長の原料としては、例えばZnSe化合物ソース、ZnS化合物ソース、ZnTe化合物ソース、及びMgメタルソースを用いる。それぞれの純度は、例えば99.9999%以上にする。

【0043】次に、図3(b)に示す様に、この積層構造の上に選択的にマスク110を形成する。マスク110は、以下で形成する溝111に相当する位置に開口部を有する。

【0044】さらに、このマスク110を使用して光閉じ込め層109をエッチングして、溝111を形成する。マスク110の材料は、例えば、レジスト膜、シリコン酸化膜、或いはシリコン窒化膜を用いることができる。これらの膜を所定のストライプ形状に形成することで、マスク110とする。また、溝111を形成するエッチングは、例えば重クロム酸系エッチャント或いは飽和臭素水系エッチャントを使用して実施する。ここで、重クロム酸系エッチャントは重クロム酸水溶液と濃硫酸との混合液であり、その混合比は例えば2対1である。また、飽和臭素水系エッチャントは飽和臭素水と水と磷酸との混合液であり、その混合比は例えば2対15対1である。

【0045】上記のエッチャントは異方性エッチャントであるので、溝111は順メサ形状に形成される。すなわち、活性層106（或いは第2クラッド層108）に近い溝111の底部の面積が、マスク110の開口部に対応する溝111の上部の面積よりも小さくなる。溝111を形成するためのエッチングは、p型ZnMgSSe第2クラッド層108の厚みの範囲であれば、どこで止めてよい。

【0046】次に、マスク110を除去し、p型ZnMgSSe第3クラッド層112を、溝111を埋め込むように第2クラッド層108及び光閉じ込め層109の上に形成する。さらに、第3クラッド層112の上には、p型ZnSSeクラッド層113及びp型ZnSeコンタクト層114を順次積層する。上記の第3クラッド層112、クラッド層113及びコンタクト層114は、いずれも第2クラッド層108と同じ或いは近い組成を有する材料で構成され、MBE装置を用いて結晶成長される。

【0047】その後に、p型コンタクト層114の上にp型電極115を、例えば蒸着によって形成する。p型電極115は、Pd/Au或いはCr/Auなどで構成することができる。一方、n型GaAs基板101の裏面には、n型電極116が形成される。n型電極116は、In電極或いはNi/AuGe/Ni/Au電極とすることができます。

【0048】これによって、図3(c)に示す構成を有する本実施形態の半導体レーザ100が完成する。

【0049】上記の半導体レーザ100の構成において、n型ZnSeバッファ層103及びn型ZnMgSSe第1クラッド層104に対するn型ドーパントとしては、例えばClを用いる。このClのドーピングは、例えば純度が99.9999%のZnCl<sub>2</sub>を原料として行うことができる。一方、p型ZnMgSSe第2クラッド層108、p型ZnMgSSe第3クラッド層112、p型ZnSeクラッド層113、及びp型ZnSeコンタクト層114に対するp型不純物のドーピングは、例えばN<sub>2</sub>プラズマの形で結晶成長工程中にNを導入することで行うことができる。

【0050】光閉じ込め層109に溝111を設けるためのエッチングは第2クラッド層108が露出するまで行われ、具体的には、先に述べたように第2クラッド層108の中で停止させればよい。或いは、エッチングの制御をさらに容易にするために、第2クラッド層108と光閉じこめ層109との間にエッチング停止層を積層してもよい。この場合のエッチング停止層は、例えば、不純物濃度が約 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ であり厚さが約10nmであるp型GaAsで形成することができる。或いは、エッチング停止層として、例えばp型AlGaAsやp型InGaAsなどを用いることも可能である。

【0051】次に、半導体レーザ100に含まれる各半導体層について、以下にさらに詳しく説明する。

【0052】n型ZnSeバッファ層103は、結晶成長工程の初期段階において硫黄(S)やマグネシウム(Mg)が直接GaAs基板101に付着して、成長によって得られる結晶の表面を劣化させることを防ぐために導入されている。ZnSeバッファ層103の厚さは、ZnSeとGaAsとの格子不整合に関連して決定される臨界厚さ(約800Å)以下に設定する。或いは、ZnSeバッファ層103は、設けなくてもよい。

【0053】n型ZnMgSSe第1クラッド層104の組成は、Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>S<sub>y</sub>Se<sub>1-y</sub>と表したときに、x=0.10~0.26且つy=0.1~0.28の範囲内であって、ZnMgSSeの格子定数がGaAsの格子定数にマッチし、且つドーピング濃度及びバンドギャップがそれぞれ最適の値に設定されるように選択される。例えば、x=0.17且つy=0.20とする。また、第1クラッド層104の厚さは約2μm以下に設定され、例えば約1μmとする。一方、不純物濃度は、ドナー濃度N<sub>d</sub>とアクセプター濃度N<sub>a</sub>との差が例えば約 $4 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ となるように設定する。

【0054】ZnSSe第1光ガイド層105は、その厚さ

を例えば約700Åとする。また、その組成は、ZnSSeの格子定数がGaAsの格子定数にマッチするように選択され、例えばZn<sub>z</sub>Se<sub>1-z</sub>と表したときにz=0.06とする。

【0055】活性層106は、例えば厚さが約70ÅのZnCdSe層を井戸層として用い、且つ例えば厚さが約100ÅのZnSe層を障壁層として用いた多重量子井戸構造を有する。障壁層で上下を挟まれて繰り返して形成される井戸層の数は、例えば5層とする。或いは、井戸層を1層のみ含む構成であってもよい。さらに、他の構造として、

10 井戸層としてZnSe層及び障壁層としてZnMgSSe層を用いた多重量子井戸構造とすることもできる。このZnSe層とZnMgSSe層との組み合わせでは発振波長が約450nm程度になり、ZnCdSe層を用いる場合よりも発振波長を短くできる。

【0056】ZnSSe第2光ガイド層107の厚さは、その厚さを例えば約700Åとする。また、その組成は、ZnSSeの格子定数がGaAsの格子定数にマッチするように選択され、例えばZn<sub>z</sub>Se<sub>1-z</sub>と表したときにz=0.06とする。

20 【0057】p型ZnMgSSeで構成される第2クラッド層108の組成は、Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>S<sub>y</sub>Se<sub>1-y</sub>と表したときに例えばx=0.17且つy=0.20とする。また、その厚さは約0.2μm以下に設定し、例えば約0.1μmとする。一方、不純物濃度は、例えば約 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ とする。

【0058】ZnMgSSe光閉じこめ層109には、すでに説明したように、ストライプ状のレジスト膜やSiO<sub>2</sub>膜からなるマスク110を使用して溝(すなわち開口部)111が形成される。開口部111の上部の幅、すなわち溝(開口部)111を形成するために用いられるマスク110のストライプ幅は、例えば約5μmとする。ま

30 た、先述したエッチング停止層を用いない場合の溝(開口部)111を設けるためのエッチング工程で掘り込む深さは、ZnMgSSe光閉じこめ層109の厚み以上であって、且つ溝111の底面がp型ZnMgSSe第2クラッド層108の中にとどまるように設定される。従って、厳密なエッチング工程の制御を行う必要がない。

【0059】ZnMgSSe光閉じこめ層109は、例えば全くドーピングされずに高抵抗を有していてもよい。或いは、第3クラッド層112の導電型(p型)と逆のn型を有していてもよい。n型にドーピングされている場合のキャリア濃度は、例えば約 $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ とする。

【0060】p型ZnSeコンタクト層114は、不純物濃度が例えば約 $4 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ であって、厚さを例えば約0.8μmとする。

40 【0061】なお、p型ZnSeコンタクト層114に加えてp型ZnTeコンタクト層を設けて、コンタクト層を多層構造にすることもできる。このような多層コンタクト構造では、コンタクト抵抗が低減される。その場合には、まずp型ZnSeコンタクト層114を不純物濃度が例えば約 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ で厚さが例えば約0.3μmであるように形成し、さらにその上にp型ZnSe/ZnTe多重量子井戸

層 (MQW) 層、及び不純物濃度が例えば約  $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  で厚さが例えば約 80 Å である p 型 ZnTe 第 2 コンタクト層 (いずれも不図示) を MBE 成長させる。その後に、p 型電極 115 を第 2 コンタクト層の上に蒸着する。上記のように付加的に設けられる p 型 ZnTe/ZnSe 多重量子井戸層及び p 型 ZnTe 第 2 コンタクト層に対する p 型不純物のドーピングは、例えば n プラズマの形で結晶成長工程中に N を導入することで行うことができる。

【0062】なお、上記に説明した半導体レーザ 100において、クラッド層の構成材料として、ZnMgSSe の代わりに光ガイド層と同じ ZnSSe を用いることもできる。或いは、ZnSSe で構成される光ガイド層を省略して、ZnMgSSe で構成されるクラッド層のみで活性層を挟み込む構成とすることも可能である。

【0063】以上に説明した本発明の半導体レーザ 100 は、屈折率導波型の構成を有するように構成することができる。そのためには、ZnMgSSe 光閉じ込め層 109 の組成を例えば  $Z_{0.81}Mg_{0.19}S_{0.22}Se_{0.77}$  とし、p 型 ZnMgSSe 第 2 クラッド層 108 及び p 型 ZnMgSSe 第 3 クラッド層 112 の組成をそれぞれ例えば  $Z_{0.81}Mg_{0.19}S_{0.22}Se_{0.77}$  とする。これにより、活性層 106 が感じる水平方向の実効屈折率差  $\Delta n$ 、すなわち、活性層 106 のうちで光閉じ込め層 109 の溝 (開口部) 111 に相当する領域の実効屈折率と活性層 106 のその他の領域での実効屈折率との差が約  $4 \times 10^{-3}$  となって、屈折率導波型の構造が実現される。このような屈折率導波型の構造では、単一横モード発振が可能になるとともに電流狭窄構造が実現される。さらに、活性層 106 で発生した熱を、光閉じ込め層 109 の開口部 111 を埋め込む第 3 クラッド層 112 で吸収することができる。

【0064】上記の実効屈折率差  $\Delta n$  は、第 2 及び第 3 クラッド層 108 及び 112 の屈折率と光閉じ込め層 109 の屈折率との差、ならびに、光閉じ込め層 109 と活性層 106 との間に残された第 2 クラッド層 108 の厚さ (以下では、「残し厚み  $t$ 」と称する) の光閉じ込め層 109 の厚さに対する比によって決定される。本発明によれば、第 2 及び第 3 クラッド層 108 及び 112 や光閉じ込め層 109 の厚さは、エッチング工程ではなく結晶成長工程によって決定される。従って、それらの厚さを厳密に制御することが可能であり、高精度で且つ再現性良く、単一横モード発振が可能な半導体レーザを実現することができる。

【0065】ここで、屈折率導波構造において単一横モード発振を実現するためには、上記の実効屈折率差  $\Delta n$  を  $5 \times 10^{-3} \sim 1 \times 10^{-2}$  の範囲内に設定することが好ましい。これは、第 2 及び第 3 クラッド層 108 及び 112 の組成を、バンドギャップ  $\Delta E_g$  が約 2.8 eV になるように、 $Z_{0.81}Mg_{0.19}S_{0.22}Se_{0.77}$  において  $x = 0.06 \sim 0.1$  且つ  $y = 0.14 \sim 0.28$  の範囲内に設定し、一方、電流プロック層としての機能も有する光閉じ込め層 109 の組成

を、バンドギャップ  $\Delta E_g$  が約 3.0 eV になるように、 $Z_{0.81}Mg_{0.19}S_{0.22}Se_{0.77}$  において  $x = 0.09 \sim 0.15$  且つ  $y = 0.18 \sim 0.28$  の範囲内に設定し、さらに第 2 クラッド層 108 の残し厚み  $t$  を約 0.1  $\mu\text{m}$  ~ 約 0.5  $\mu\text{m}$  の範囲内に設定した場合の、典型的な実効屈折率差  $\Delta n$  の値である。

【0066】バンドギャップ  $\Delta E_g$  が約 2.8 eV である ZnMgSSe クラッド層は、II-VI 族系化合物半導体レーザの構成において、p 型及び n 型不純物のドーピングを十分に行なうことができ且つ縦方向の光閉じ込めが実現できる、一般的なクラッド層である。

【0067】一方、一般に、ZnMgSSe 層のバンドギャップを大きくするために Mg の組成を大きくする必要があるが、Mg の含有量の増加にともなってドーピング効率が悪化する。しかし、バンドギャップ  $\Delta E_g$  が約 3.0 eV である ZnMgSSe 光閉じ込め層はドーピングを必要としない層であるので、比較的容易に形成することができる。

【0068】上記のような組成をそれぞれ有するクラッド層及び光閉じ込め層を組み合わせて、活性層の実効屈折率差  $\Delta n$  を上記範囲内の値にすることによって、屈折率導波型 (リアルインデックスガイド型) 構造における単一横モードレーザ発振が実現される。

【0069】単一横モード発振の実現のために活性層 106 の実効屈折率差  $\Delta n$  を上記範囲内の値に設定するためには、光閉じ込め層 109 の厚さ  $h$  を約 0.1  $\mu\text{m}$  以上にする必要がある。一方、光閉じ込め層 109 の厚さ  $h$  が約 1.0  $\mu\text{m}$  よりも厚くなると、溝 111 の部分での段差が大きくなりすぎて、溝 111 を埋め込むように光閉じ込め層 109 の上に再成長する結晶層の結晶性を劣化させる。さらに、段差が大きすぎるために形成される半導体レーザ要素の最表面に比較的大きな凹部が形成されて、チップキャリアに装着した際に隙間が存在する。この結果、放熱特性の劣化やボンディングが困難になるなどの問題が生じる。

【0070】いずれも ZnMgSSe から構成されている第 2 及び第 3 クラッド層 108 及び 112 の組成は望ましくは同じにするが、これに限られるわけではない。

【0071】光閉じ込め層 109 と、通常のレーザ構造におけるクラッド層の残し厚みに相当する p 型 ZnMgSSe 第 2 クラッド層 108 とは、いずれも 1 回目の結晶成長で形成される。従って、それらの厚さは、エッチングによって決定される場合に比べて、さらに厳密に決定される。

【0072】図 3 (a) ~ (c) を参照して説明した構造を有する本発明の埋め込み型半導体レーザ 100 では、光閉じ込め層 109 に設けられた溝 (開口部) 111 によって、電流狭窄が行われる。そのため、p 型電極 115 と p 型 ZnSe コンタクト層 114、p 型 ZnSe コンタクト層 114 と p 型 ZnSSe クラッド層 113、p 型 ZnSSe クラッド層 113 と p 型 ZnMgSSe 第 3 クラッド層 112

が、それぞれ素子面積で接触している。この結果、半導体積層構造の中に生じる垂直方向（すなわち電極間の方向）の抵抗が、従来技術の構造に比べて非常に低くなる。

【0073】なお、十分な電流の狭窄効果を得るために、光閉じ込め層109の下に存在する第2クラッド層の厚さである残し厚み $t$ を、約0.5μm以下にする必要がある。残し厚み $t$ が約0.5μmよりも大きいと、溝111の底面と活性層106との間の距離が長くなりすぎて、その部分での電流の拡がりが大きくなりすぎる。なお、残し厚み $t$ が小さくなりすぎると、活性層106での実効屈折率差 $\Delta n$ が大きくなりすぎて横モードのレーザ発振の制御が困難になる可能性があるが、この問題は、光閉じ込め層109を構成するZnMgSSeの組成や光閉じ込め層109の厚さ $h$ を上述の範囲内で適切な値に設定することで克服することができる。

【0074】図4及び図5には、第2及び第3クラッド層108及び112の組成を $Zn_{1-x}Mg_xS_xSe_{1-y}$ において $x=0.08$ 且つ $y=0.18$ とし、一方、光閉じ込め層109の組成を、 $Zn_{1-x}Mg_xS_xSe_{1-y}$ において $x=0.11$ 且つ $y=0.24$ としたときの、光閉じ込め層の厚さとレーザ発振のためのしきい値電流との関係を示すグラフ（図4）、及び、第2クラッド層の残し厚みとレーザ発振のためのしきい値電流との関係を示すグラフ（図5）である。

【0075】図4において、光閉じ込め層109のMg組成を増やしてバンドギャップ $\Delta E_g$ を大きくし、活性層106における実効屈折率差 $\Delta n$ を大きくすると、特性は実線で描くものから破線で描くものへ変化する。この場合、光閉じ込め層109の屈折率が小さくなるので、光閉じ込め層109の厚さをより薄くしても、十分な実効屈折率差 $\Delta n$ を得ることができる。この結果、レーザ発振のためのしきい値電流が低くなる。

【0076】一方、図5においても、光閉じ込め層109のMg組成を増やしてバンドギャップ $\Delta E_g$ を大きくし、活性層106における実効屈折率差 $\Delta n$ を大きくすると、特性は実線で描くものから破線で描くものへ変化する。この場合、光閉じ込め層109の屈折率が小さくなるので、第2クラッド層108の残し厚みを大きくしても、十分な実効屈折率差 $\Delta n$ を得ることができる。しかし、残し厚みが薄すぎる場合には、実効屈折率差 $\Delta n$ が大きくなりすぎて横モードのレーザ発振の制御が困難になり、レーザ発振のためのしきい値電流が増加する。

【0077】次に、本発明による半導体レーザと従来技術による半導体レーザについて、p型電極とp型コンタクト層との間の接触面積の相違、及び電流経路の相違について、図6（a）及び（b）を参照して説明する。

【0078】図6（a）は、従来技術によって形成される半導体レーザ300の構成を示す断面図であり、図6（b）は、先に図1（a）～（c）を参照して説明した本発明の半導体レーザ100の構成を示す断面図であ

る。このうち図6（b）では、これまでと同じ構成要素に同じ参照符号を付しており、その説明は省略する。一方、図6（a）の従来の半導体レーザ300では、n型GaAs基板301の上に、n型GaAsバッファ層302、n型ZnSeバッファ層303、n型ZnMgSSe第1クラッド層304、ZnSSe第1光ガイド層305、CdZnSe活性層306、ZnSSe第2光ガイド層307、p型ZnMgSSe第2クラッド層308、及びp型コンタクト層309を順次積層した後に、p型ZnMgSSe第2クラッド層308及びp型コンタクト層309をエッチングしてメサストライプを形成する。その後に、メサストライプをZnMgSSe層310で埋め込み、さらにその埋め込み層310の上にp型電極311を形成する。一方、n型GaAs基板301の裏面には、n型電極312を形成する。これによって、半導体レーザ300が完成する。

【0079】上記のような従来技術による半導体レーザ300と本発明による半導体レーザ100とが、メサストライプ或いは光閉じ込め層109の溝111（以下では、「ストライプ」と称する）に平行な一辺の長さが約350μmであり、ストライプに垂直な一辺の長さが約700μmであるような素子面積を占め、且つストライプの幅が約5μmであるとして、両者の構造を比較する。

【0080】このとき、図6（a）に示す従来技術による半導体レーザ300の構造では、p型電極311とp型コンタクト層309との接触面積は約1750μm<sup>2</sup>である。一方、図6（b）に示す本発明による半導体レーザ100の構造では、p型電極115とp型コンタクト層114との接触面積は約245000μm<sup>2</sup>となり、従来技術の値に比べて約140倍である。従って、本発明によれば、p型電極とp型コンタクト層との間に発生する抵抗を、従来技術によって形成される対応した構成を有する半導体レーザ300における値の、約1/140にすることができる。さらに、p型コンタクト層とp型クラッド層との間に発生する縦方向の抵抗も、著しく低減される。

【0081】さらに、図6（a）に示す従来技術による半導体レーザ300では、p型電極311からn型電極312に向けて流れる電流（破線で図示）が、素子領域の全体に拡がる。それに対して、本発明の半導体レーザ100では、図6（b）に示すように、p型電極115から流入した電流（破線で図示）は、光閉じ込め層109の溝（開口部）111で狭められてから活性層106に流入する。このため、活性層106のうちで実際に電流が流れる領域は、ストライプ、すなわち光閉じ込め層109の溝111の形成に使ったマスクの幅よりも拡がることはない。これによって、レーザ発振のためのしきい値電流の低減に非常に効果がある。

【0082】【発明の効果】以上に説明したように、本発明の半導体レーザ及びその製造方法では、レーザ発振のための半導体積層構造が結晶成長によって形成されるので、積層構

造に含まれる光閉じ込め層及びクラッド層の厚さを、エッティング工程の制御ではなく結晶成長工程の制御によって所定の値に設定することができる。このため、所期の設計パラメータを有する光閉じ込め構造を、再現性良く形成することができる。

【0083】また、本発明の半導体レーザでは光閉じ込め層が結晶成長によって形成されており、多結晶層或いは非結晶層でない。従って、光閉じ込め層の中に結晶粒界が存在したり、レーザ発振のための横層構造と光閉じ込め層との境界部分に不純物が取り込まれたりすることができなく、それらが原因でリーク電流が発生して動作特性に悪影響が及ぼされることがない。

【0084】また、光閉じ込め層の開口部が活性層に近い側で狭くなるように形成されるので、開口部の形成のために使用するマスクの幅は、電流狭窄に関与する実効的なメサストライプの幅よりも広くよい。このため、幅の狭いメサストライプを容易に形成することができる。

【0085】さらに、第3のクラッド層、コンタクト層及び電極は、メサストライプの幅ではなく、素子面積で接触している。このため、電極とクラッド層との間に発生する抵抗が著しく低減される。

【0086】光閉じ込め層に開口部を形成するエッティングは、少なくとも第2のクラッド層の中で停止させればよい。従って、このエッティング工程の制御が容易である。

【0087】或いは、第2のクラッド層と光閉じ込め層との間にエッティング停止層を設ければ、開口部を設けるための上記エッティング工程をさらに容易に制御することができる。さらに、このエッティング停止層をIII-V族半導体材料で形成すれば、開口部を設けるためのエッティングで露出したエッティング表面を容易に清浄化及び平滑化することができて、その表面上に第3のクラッド層を容易に再成長させることができる。上記の再成長に先立つエッティング停止層の表面の清浄化及び平滑化に水素プラズマを使用すれば、第3のクラッド層の成長温度に比べて比較的低い温度で清浄化及び平坦化処理を行うことができる。従って、半導体横層構造に対する熱の影響を低減することができる。

【0088】第3のクラッド層を再成長で形成すれば、熱によるp型クラッド層のキャリア不活性化の影響を少なくすることができる。

【0089】また、電流狭窄を行う光閉じ込め層が半導体横層構造の中に連続的に形成された単結晶層となるために、不必要なリーク電流の発生など、動作特性に悪影響を及ぼす恐れのある現象が生じる可能性が低減する。

【0090】さらに、本発明の半導体レーザでは、電流プロック層としての機能も發揮する光閉じ込め層が、4元混晶II-VI族化合物半導体材料であるZnMgSSeで構成されている。この材料は、発振するレーザ光の波長に比

べてバンドギャップが大きいので発振するレーザ光を吸収せず、屈折率導波型のレーザ構造が実現される。従って、レーザ光の吸収が生じないだけしきい値電流を小さくすることができて、高出力範囲に至るまでのレーザ発振を達成できる。

【0091】また、光閉じ込め層の屈折率に比べて第2及び第3のクラッド層の屈折率を大きくすることによって、活性層に水平方向の実効屈折率差 $\Delta n$ を設けることができる。本発明の半導体レーザでは、この実効屈折率差 $\Delta n$ を適切に制御することによって、単一横モード発振を実現している。この際、クラッド層及び光閉じ込め層を4元混晶の半導体材料で形成しているが、4元混晶半導体材料には、基板に格子整合する組成が数多く存在する。従って、基板に格子整合し且つ適度な実効屈折率差をもたらす組成(材料)を容易に選択・設定することができるので、半導体レーザの設計における自由度が大きい。

【0092】以上により、本発明によれば、レーザ発振動作特性及び信頼性に優れ、且つレーザ発振動作特性にサンプル間でのばらつきが少ない半導体レーザを、再現性良く製造することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】従来技術による半導体レーザの構成を示す断面図である。

【図2】従来技術による他の半導体レーザの構成を示す断面図である。

【図3】(a)～(c)は、本発明の半導体レーザの構成及びその製造工程を示す断面図である。

【図4】光閉じ込め層の厚さとレーザ発振のためのしきい値電流との関係を示すグラフである。

【図5】第2クラッド層の残し厚みとレーザ発振のためのしきい値電流との関係を示すグラフである。

【図6】従来技術による半導体レーザ及び本発明の半導体レーザにおけるコンタクト層と電極との接触面積及び電流経路を模式的に説明するための断面図であって、

(a)は、従来技術による半導体レーザの構成を示す断面図であり、(b)は、本発明による半導体レーザの構成を示す断面図である。

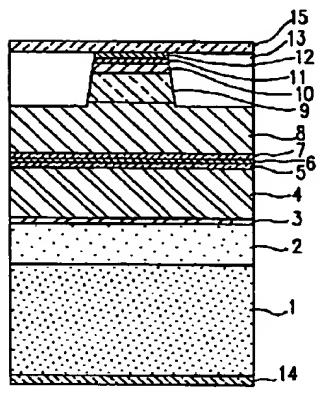
#### 【符号の説明】

40	101 n型GaAs基板
	102 n型GaAsバッファ層
	103 n型ZnSeバッファ層
	104 n型ZnMgSSe第1クラッド層
	105 ZnSSe第1光ガイド層
	106 多重量子井戸層(活性層)
	107 ZnSSe第2光ガイド層
	108 p型ZnMgSSe第2クラッド層
	109 ZnMgSSe光閉じ込め層
	110 マスク
50	111 溝(開口部)

17

112 p型ZnMgSSe第3クラッド層  
 113 p型ZnSSeクラッド層  
 114 p型ZnSeコンタクト層

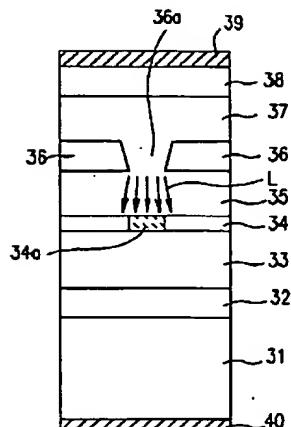
【図1】



20

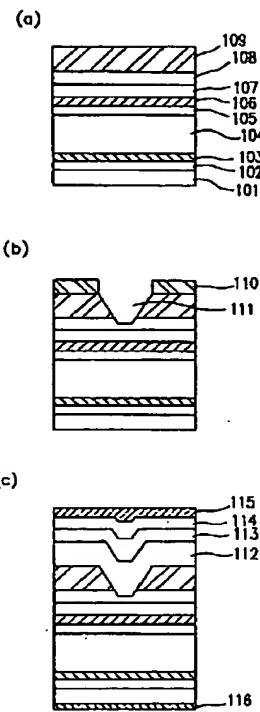
\* 115 p型電極  
 116 n型電極  
 \*

【図2】

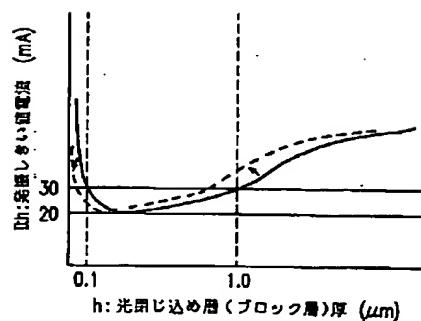


30

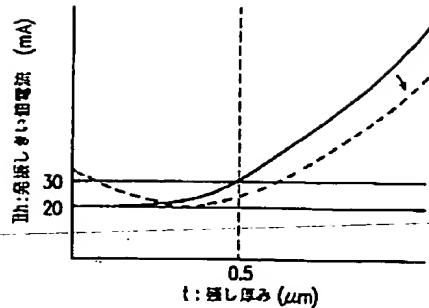
【図3】



【図4】

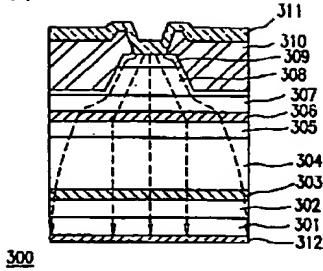


【図5】



【図6】

(a)



(b)

